

*Финогенов Н.А.,
студент магистратуры
2 курс, институт Геологии и Нефтегазодобычи
Тюменский индустриальный университет
Россия, г. Тюмень*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МНОГОФАЗНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИ РАСЧЕТЕ СВОБОДНОГО ПОВЕРХНОСТНОГО ПОТОКА ЖИДКОСТИ

***Аннотация:** В данной статье рассматриваются рассматривается подбор эффективной модели для симуляции свободного поверхностного потока с волнообразованием путем построения экспериментальных моделей-симуляций и сравнительного анализа результатов вычислений на базе программного обеспечения Ansys Fluent.*

***Ключевые слова:** математическое моделирование, многофазное течение, свободный поверхностный поток, модель Volume of Fluid, модель Эйлера, Ansys Fluent.*

***Abstract:** This article discusses the selection of an effective model for simulating a free surface flow with wave formation by constructing experimental simulation models and comparative analysis of the calculation results based on the Ansys Fluent software.*

***Key words:** mathematical modeling, multiphase flow, free surface flow, Volume of Fluid model, Eulerian model, Ansys Fluent.*

Первым шагом в решении любой многофазной задачи является определение того, какой из режимов обеспечивает некоторые общие руководящие принципы для определения подходящих моделей для каждого

режима и как определить степень межфазного взаимодействия для потоков. В данной статье рассматриваются рассматривается подбор эффективной модели для симуляции свободного поверхностного потока с волнообразованием путем построения экспериментальных моделей-симуляций и сравнительного анализа результатов вычислений на базе программного обеспечения Ansys Fluent. В Ansys Fluent доступны различные многофазные модели Эйлера-Эйлера, среди которых модель объема жидкости Volume of Fluid (VOF) и модель Эйлера (Eulerian).

Модель Эйлера - самая сложная из многофазных моделей в Ansys Fluent. Она решает набор n уравнений количества движения и неразрывности для каждой фазы. Связь достигается за счет коэффициентов давления и межфазного обмена. Способ обращения с этим соединением зависит от типа задействованных фаз: гранулярные (жидкость-твердые) потоки обрабатываются иначе, чем негранулярные (жидкость-жидкость) потоки. Для гранулярных потоков свойства получены с применением кинетической теории. Обмен импульсом между фазами также зависит от типа моделируемой смеси. Пользовательские функции Ansys Fluent позволяют настраивать расчет обмена моментом. Применения многофазной модели Эйлера включают пузырьковые колонны, стояки, суспензию частиц и псевдооживленные слои [1].

Другой общепринятой или традиционной моделью является модель объема жидкости (VOF). Модель VOF может моделировать две или более несмешивающихся жидкостей, решая один набор уравнений импульса и отслеживая объемную долю каждой из жидкостей по всей области. Типичные приложения включают прогнозирование разрыва струи, движение больших пузырьков в жидкости и движение жидкости после прорыва плотины, а также установившееся или переходное отслеживание любой границы раздела жидкость-газ [2].

Формулировка VOF основана на том факте, что две или более жидкости (или фазы) не проникают друг в друга. Для каждой дополнительной фазы, которую вы добавляете в свою модель, вводится переменная: объемная доля фазы в вычислительной ячейке. В каждом контрольном объеме объемные доли всех фаз в сумме равны единице. Поля для всех переменных и свойств являются общими для фаз и представляют собой усредненные по объему значения, если объемная доля каждой из фаз известна в каждом месте.

Для сравнения этих моделей был проведен расчет свободного поверхностного потока. Была проработана модель-симуляция распространения волн воды в домене, в равной степени заполненном несмешивающимися водной и воздушной фазой, и влияния этих волн на группу цилиндрических опор. Был смоделирован домен с измерениями длины, ширины и высоты равными 10, 5 и 4 метра соответственно. Опоры имеют диаметр 0,25 метров и высоту 4 метра. Схема расположения цилиндров, расстояние между которыми равно $6D$, где D – диаметр цилиндра, и геометрическая модель показаны на «Рисунке 1» и «Рисунке 2» соответственно.

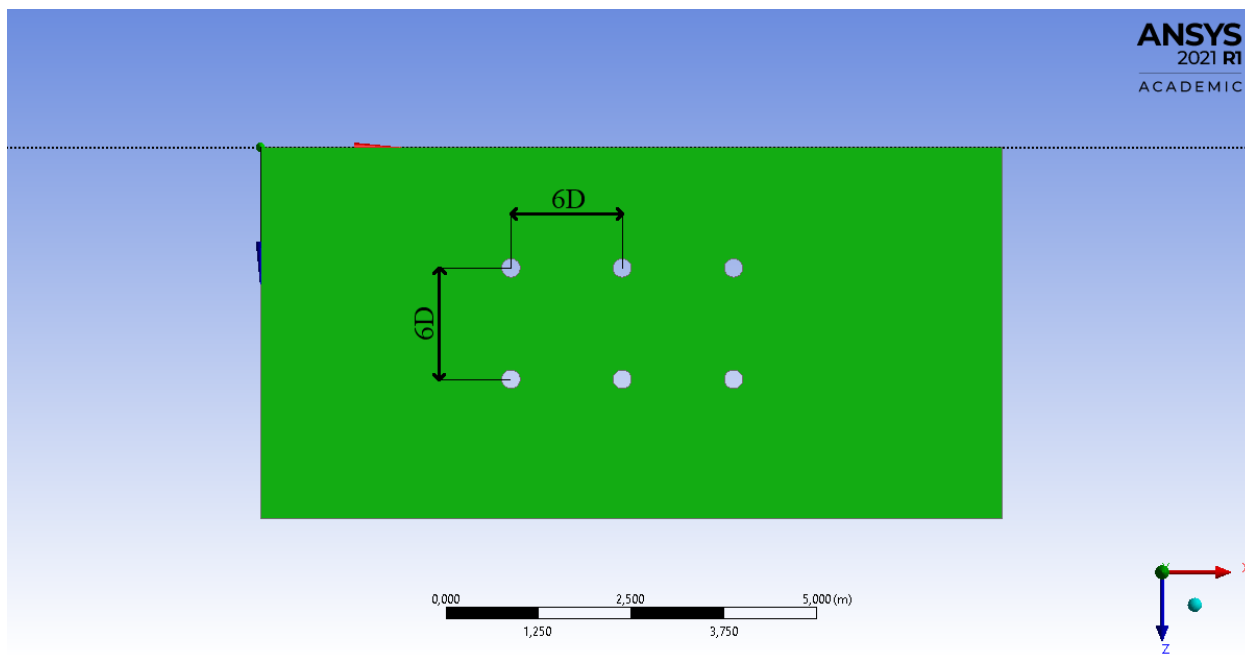


Рисунок 1 – Схема домена и расположения цилиндрических опор

Начальная скорость потока для обеих фаз составила 0,5 м/с. Высота и длина моделируемых с использованием волновой теории Эйри первого порядка волн составляют 0,5 и 10 метров соответственно. В ходе симуляции было проведено 2000 вычислений с шагом в 0,01 секунд. Таким образом, общее время симуляции составило 20 секунд. Полученные показатели невязок показаны на «Рисунке 3».

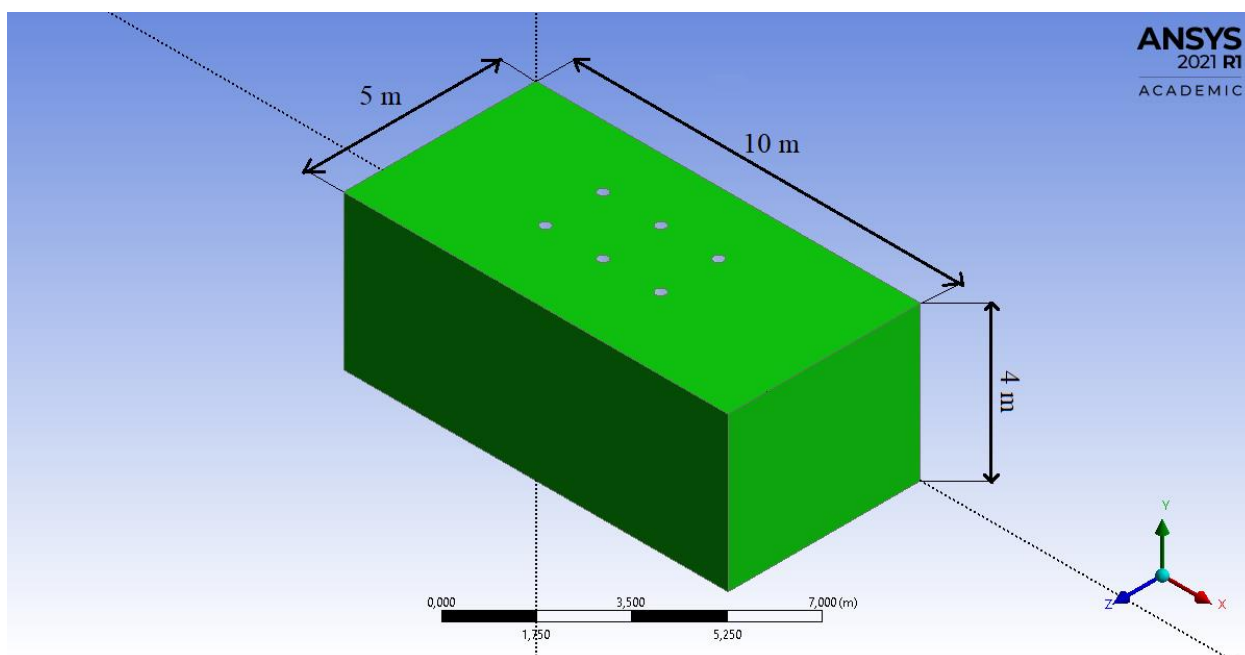


Рисунок 2 – Геометрическая модель домена и значения её измерений

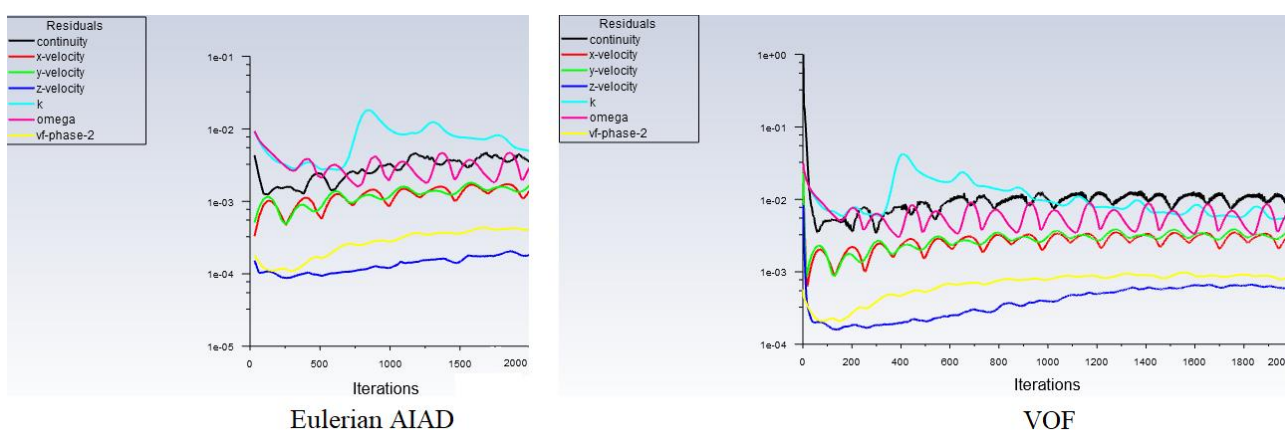


Рисунок 3 – Сравнение значения невязок модели Эйлера и VOF

Как видим, все значения невязок модели Эйлера ниже, чем у модели VOF. Это связано с одной из особенностей модели Эйлера - подсеточной

моделью турбулентности. Это обеспечивает более точные вычисления, особенно в условиях сетки с низкой плотностью и большими размерами ячеек.

Чтобы проверить правильность выводов, было принято решение контролировать соответствующую интегрированную величину, такую как лобовое сопротивление (Рисунок 4).

Коэффициент лобового сопротивления - это безразмерная величина, которая используется для количественной оценки сопротивления объекта в текучей среде, такой как воздух или вода. Он используется в уравнении лобового сопротивления, в котором более низкий коэффициент лобового сопротивления указывает, что объект будет иметь меньшее аэродинамическое или гидродинамическое сопротивление. Коэффициент лобового сопротивления всегда связан с определенной площадью поверхности [3].

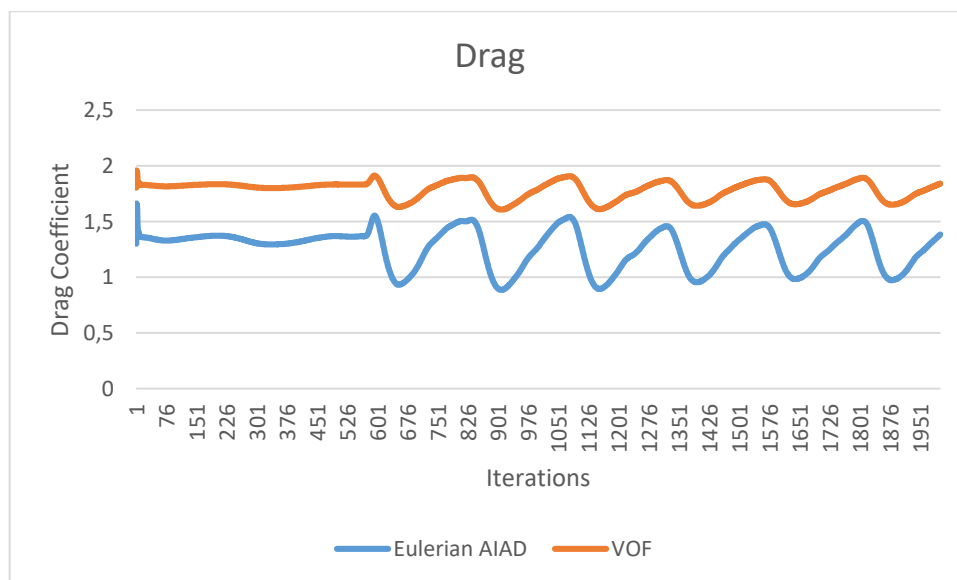


Рисунок 4 – Сравнение показателей коэффициента лобового сопротивления для моделей Эйлера и VOF

Коэффициенты сопротивления при числах Рейнольдса от 10^4 до 10^6 для лобовой (по отношению к направлению потока) стороны цилиндра равны 1,16 [4]. Для представленной в данном исследовании модели $Re = 124131$. Число Рейнольдса укладывается в диапазон значений. При этом необходимо понимать, что значение коэффициента лобового сопротивления может

изменяться в условиях распространения волн, поскольку опоры подвергаются нагрузкам, которые изменяются (периодически) во времени. Тем не менее, анализируя значения, можно заметить, что значения, полученные с помощью модели Эйлера, ближе к теоретическим значениям коэффициента лобового сопротивления.

В заключение, проанализировав результаты применения моделей VOF и Эйлера для моделирования свободного поверхностного потока, мы можем сделать вывод, что модель Эйлера имеет некоторое преимущество перед моделью VOF при моделировании турбулентных потоков из-за модели турбулентности в подсеточном масштабе.

Список используемых источников и литературы:

1. ANSYS FLUENT 12.0 Theory Guide [Электронный ресурс]. URL: https://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/th/main_pre.htm
2. R. M. Bowen. Theory of Mixtures. In A. C. Eringen, editor, Continuum Physics, pages 1-127. Academic Press, New York, 1976.
3. C. W. Hirt and B. D. Nichols. Volume of Fluid (VOF) Method for the Dynamics of Free Boundaries. J. Comput. Phys., 39:201-225, 1981.
4. C. Crowe, M. Sommerfield, and Yutaka Tsuji. Multiphase Flows with Droplets and Particles. CRC Press, 1998.